DIE NATURWISSENSCHAFTEN

18. Jahrgang | 27. Juni 1930 | Heft 26

Drei- oder Vierfarbenlehre?

(Zugleich eine Darstellung der Rezeptor-Reagententheorie des Farbensehens.)

Von A. TSCHERMAK, Prag.

I. Neuere Tatsachen auf dem Gebiete der Lichtermischung.

Die Frage: Drei- oder Vierfarbenlehre könnte manchem antiquiert erscheinen, da doch bereits durch NEWTONS Mischungsgesetz feststehe, daß man alle „Farben" aus drei passend gewählten Lichtern — speziell aus rot, grün und blau — mischen könne. In demselben Sinne sprächen die vollbefriedigenden Leistungen des Dreifarbendruckes, wobei nur die Trias: rot, gelb und blau gewählt wird, da sich ja grün aus gelb und blau „mischen" lasse. Vielen Theoretikern und Praktikern der Farbenlehre gelten diese tausendfach wiederholten Sätze als eine unumstößliche Wahrheit, die in der Aufstellung eines Farbendreieckes mit eingeschlossener Spektrumkurve geradezu einen mathematisch-exakten Ausdruck finde — und doch nötigen neuere exakte Beobachtungen, welche unter meiner Leitung von GOLDMANN und von SCHUBERT angestellt wurden[1], zu einem ganz anderen Urteile.

NEWTONS Dreilichter-Mischungsgesetz umfaßt nämlich durchaus nicht alle „Farben", sondern nur alle Farbentöne (hues) der vier Quadranten des Farbenkreises vom Rot durch das Gelb, Grün, Blau, Violett bis zum Purpur, keineswegs jedoch alle Stufen an Sättigung oder Farbenintensität (tint— mit „Verhüllung" als Gegenstück) und an Nüance oder Schattierung (shade) dieser Farbentöne; aus drei noch so passend gewählten Lichtern, gleichgültig, ob physikalisch homogen oder komplex, lassen sich zwar alle möglichen Farbentöne darstellen, aber nur unter weitgehender Bindung der Sättigung und Nüance, also ohne weitgehende oder gar unbeschränkte Freiheit dieser wesentlichen Begleitqualitäten! Die Voraussetzung einer passenden Wahl der drei Lichter bedeutet, daß höchstens zwei derselben eintonig oder urfarbig sein dürfen, keineswegs aber alle drei — allgemeiner gesagt, daß nicht zwei davon komplementär sein dürfen. Die drei Lichter müssen also drei verschiedenen Quadranten des Farbenkreises angehören — das die drei Lichter versinnbildende Strahlenbüschel darf nur Winkel unter 180° aufweisen (vgl. Abb. 1).

Empfindungsanalytisch formuliert lautet diese Forderung: es müssen in den von den drei Lichtern einzeln hervorgerufenen Empfindungen bereits alle vier möglichen Tonelemente der Farbenempfindung (Rot, Gelb, Grün, Blau) nachweisbar enthalten sein. ***Eine solche Dreilichtermischung bedeutet in Wahrheit eine Vierfarbenmischung.*** Es genügen also zur Erreichung unbeschränkter Tonmannigfaltigkeit nur dann ***drei physikalische Variable***, wenn denselben ***vier physiologische Variable*** entsprechen. Die Dreilichterökonomie

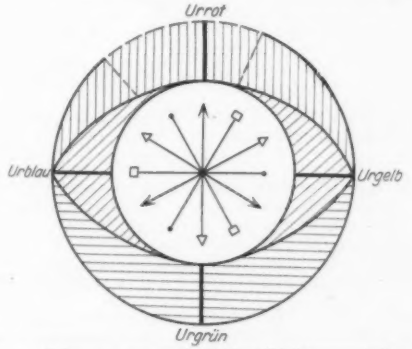

Fig. 1. Schema „passender" Drei-Lichtergemische zur Produktion der Farbentöne unter Zugrundelegung des Heringschen Farbenkreises.

ist nur dadurch möglich, daß die physiologischen Reizwirkungen einem Kreis mit zweifacher Hälftung bzw. mit Vierteilung entsprechen. So wird — bei der Wahl von Spektralrot, Grün und Violett als Grundfarben — durch Mischung von Spektralrot und Grün (besser Gelbgrün) Gelb nicht erst *produziert*, sondern es *restiert*, da in der einen oder in beiden Komponenten bereits enthalten, dann allein, wenn die Rot- und die Grünwirkung einander gerade kompensieren — ebenso, wie das bei komplementärer Mischung hervortretende Weiß bereits zuvor in allen Komponenten gegeben war. Der physikalischen Addition von Lichtern entspricht eben eine physiologische Addition gleich- oder disparatfarbiger Teilwirkungen, hingegen eine physiologische Subtraktion gegenfarbiger Effekte. Die „Produktion" von Gelb (oder Weiß) durch Mischung bedeutet in Wahrheit nicht die Erzeugung der vierten Grundqualität an Farbenton aus zwei oder drei anderen — ist doch Gelb ebensogut eine einfache Empfindung wie Rot und Grün und kein Additionsprodukt beider! —, sondern sie gleicht, wenn man so sagen darf,

[1] S. deren Detail bei H. GOLDMANN (unter A. TSCHERMAK), Pflügers Arch. **194**, 490 (1922); **210**, 170 (1925). — G. SCHUBERT (unter A. TSCHERMAK), **220**, 82 (1928). — A. TSCHERMAK, Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie **12**, (1), 295—501, 550—584. Berlin: Julius Springer 1929.

der Goldmacherei, welche zuverlässig aus solchen Ingredienzien gelingt, in denen bereits Gold enthalten war! Andererseits bedeutet eine Dreipigmentmischung eine „Produktion" der vierten Farbe, nämlich des Grün auf dem Wege einer physikalischen Subtraktion, indem die gelben Pigmentteilchen im wesentlichen nur gelbes und grünes Licht reflektieren oder durchlassen, die blauen davon das gelbe Licht absorbieren, so daß ausschließlich grünes Licht übrigbleibt. Sowohl bei der Mischung von drei passenden Grundlichtern wie bei der Mengung von drei passenden Pigmenten handelt es sich sonach um eine Scheinökonomie, nicht um eine tatsächliche Reduktion des Farbensystems auf drei Grundkomponenten!

Der Fortschritt in der Erzeugbarkeit von Mannigfaltigkeit an Farbenton, Sättigung und Nüance sei durch folgende Vergleichsübersicht charakterisiert:

	I. Mannigfaltigkeit an Farbenton		II. Mannigfaltigkeit an Sättigung und Nüance
	A) durch Änderung der Einzelintensität	B) durch Mischung	
1. Bei Wahl von 1 mischfarbigem Spektrallicht	Halbreihe bis Gelb oder Blau — günstigenfalls nahezu 1 Quadrant.		absolute Bindung an den Farbenton
2. Bei passender Wahl von 2 Spektrallichtern — d. h. unter- oder überkomplementär (nicht aber komplementär!), also eines oder beide mischfarbig	wenn mischfarbig ebenso — günstigenfalls nahezu je 1 Quadrant	Alle Zwischentöne mit 1 (oder 2) urfarbigem Übergangspunkt — günstigenfalls nahezu 2 Quadranten	sehr weitgehende Bindung an den Farbenton
	günstigenfalls nahezu 3 Quadranten		
3. Bei passender Wahl von 3 Spektrallichtern — d. h. aus drei verschiedenen Quadranten	wenn mischfarbig ebenso — günstigenfalls nahezu je 1 Quadrant	Alle Farbentöne mit 4 urfarbigen Übergangspunkten (wovon einer von relativ geringer Sättigung) — alle 4 Quadranten	weitgehende Bindung an den Farbenton

Das Ergebnis, daß aus drei passenden Lichtern zwar alle Farbentöne, die Sättigungsstufen und Nuancen jedoch nur in weitgehender Bindung und Beschränkung zu erhalten sind, muß nachdrücklichst betont werden: das aus Spektralrot und Grün oder selbst Gelbgrün gemischte Licht steht für ein geübtes, sättigungs-unterschiedsempfindliches Auge an Sättigung deutlich zurück hinter dem homogenen Gelb, noch mehr das aus Grün und Violett gemischte Blau hinter dem Spektralblau. Auch in dem vielverwendeten Anomaloskop von NAGEL besteht eine deutliche Unvollkommenheit, ein bloßer Toncharakter der RAYLEIGH-Gleichung: Gelb = Spektralrot + Gelbgrün. Eine systematisch messende Untersuchung (durch GOLDMANN) gerade dieser Frage hat uns gezeigt, daß die übliche These, man könne durch Mischung der Strahlungen L 670 und L 527 bis 517 oder gar 505 einerseits, letzterer und L 457—466 andererseits vollwertige Gleichungen mit den spektralen Zwischenlichtern erhalten, einfach falsch ist, und daß erst eine Beimengung von unzerlegtem weißem Lichte zur homogenen Hälfte die Tongleichungen zu vervollkommnen vermag. Es ergab sich dabei daß gerade die drei empfindungsanalytisch eintonigen, urfarbigen Lichter im Spektrum — das urgelbe, urgrüne, urblaue Licht usw. schematisch L 570, L 500, L 470, für dasselbe Individuum und denselben Zustand des Auges — Maxima an Sättigung, genauer an Sättigungsdifferenz gegenüber einer Mischung zweier benachbarter Lichter darstellen und dadurch deutlich vor allen Lichtern der mischfarbigen Strecken ausgezeichnet erscheinen. Die drei Kardinalpunkte des Spektrums zeigen überdies — und zwar bei Primärlage, d. h. bei Neutralstimmung des Auges, wie sie nach $2^1/_2$ bis höchstens 10 Minuten Lichtabschluß erreicht wird — noch folgende Vorzugseigenschaften:

1. Intensitätsinvarianz, d. h. Fehlen einer Farbentonänderung bei Wechsel der Lichtstärke (Gelblich- oder Bläulichwerden bei Intensitätssteigerung: BEZOLD-BRÜCKEsches Phänomen).

2. Ermüdungsinvarianz, d. h. Konstantbleiben des Farbentones bei bloßer Sättigungsabnahme infolge längerdauernder Einwirkung (statt Gelblich- oder Bläulichwerden).

3. Regionalinvarianz, d. h. Fehlen einer Farbentonänderung (im Sinne von Gelblich- oder Bläulichwerden) beim Übergang von zentraler zu parazentraler oder gar exzentrischer Betrachtung.

4. Paarweise Kompensationsbeziehung.

5. Paarweise Beziehung im Simultan- wie im Sukzessivkontrast.

Dieses Verhalten gilt, wie ausdrücklich betont sei, streng nur für die primär urfarbigen Lichter, nicht für sekundär, d. h. bei farbiger Verstimmung des Auges eintonig erscheinende Strahlungen — auch nicht für primär mischfarbige Lichter.

Speziell hervorzuheben ist noch der exakt erbrachte Nachweis (SCHUBERT), daß primäres, aus Spektralrot und Blau gemischtes Urrot und homogenes primäres Urgrün, spektrales primäres Urgelb und Urblau bei einem bestimmten Intensitätsverhältnis reinliche Kompensation, also Farblosigkeit der Mischung ergeben. Hingegen liefern

sekundäre Urfarben — bei Bestehen einer farbigen Verstimmung bestimmt, wie sie z. B. bei Hellstimmung durch das meistens nicht neutrale Tageslicht die Regel ist, und zwar bei trübem Wetter zumeist im Sinne von Blaurotermüdung, bei klarem von Gelbrotermüdung — auch bei maximalem Abblassen der Mischung einen farbigen Rest, welcher gegensinnig zur Verstimmungsrichtung ist. Der Befund, daß die Mischung von reinem Rot und reinem Grün einen gelblichen Rest (LADD-FRANKLIN), jene von reinem Gelb und reinem Blau einen grünlichen Rest ergebe (WESTPHAL), ist auf Blau- bzw. Rotverstimmung zu beziehen, wie sie bei Helladaptation an Tageslicht vorkommt. Auf die individuellen bzw. typenmäßigen Verschiedenheiten der Lage der drei Kardinalpunkte im Spektrum kann hier nicht näher eingegangen werden. Es genüge, zu betonen, daß die Ermittelung der Urhinter den homogenen Zwischenlichtern: beim reinen Gelb (um 570 $\mu\mu$) müßte der Linienzug eine deutliche Ausbiegung oder Ecke aufweisen. Analoges gilt vom reinen Grün (um 500 $\mu\mu$), während die im Schema gezeichnete Knickung um 530—520 $\mu\mu$ — wenigstens für das neutralgestimmte Auge — eine vorzeitige zu nennen ist. Im Blau zwischen F (484) und G (430) steht in dem einen Diagramm (nach F. EXNER) nur eine schwache Knickung; die Kehre in dem anderen (nach IVES) ist um 440 statt um 470 gelegen, also sozusagen verspätet. Das Schema muß sowohl in der Gelbwie in der Blauregion als einfach falsch und den Tatsachen wiedersprechend bezeichnet werden. Tatsächlich bleibt eine Eichung des Spektrums mit drei Grundlichtern sehr unvollkommen, wie dies bereits Altmeister HELMHOLTZ (Physiol. Optik 1 A, 273 u. 289; 2 A, 312 u. 333; 3 A, 2, 102) un-

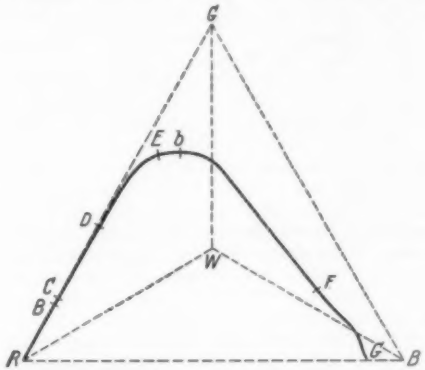

Fig. 2. Mischungsdreieck nach der Schwerpunktsregel mit Mischlinienzug der Spektrallichter nach F. EXNER.

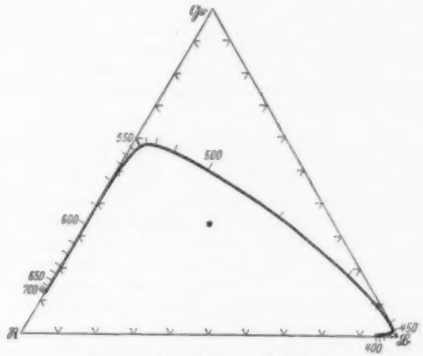

Fig. 3. Dasselbe nach IVES.

farben bei persönlicher Eignung und hinlänglicher Übung mit weitgehender subjektiver Bestimmtheit und hoher „Richtigkeit" oder Genauigkeit erfolgt, und daß sie auch nach Jahren immer wieder in der charakteristischen Primärlage gefunden werden. Nur als Beispiel seien die Zahlenwerte angeführt:

	Urgelb durchwegs	Urgrün bei Primärlage	Urblau
GOLDMANN . . .	568 ± 1,0	504,5 ± 0,5	468 ± 1,2
SCHUBERT . . .	575 ± 2,5	503 ± 0,5	468 ± 3,0
HAMMERSCHLAG	573 ± 0,5	497 ± 2,0	465 ± 2,5

Auf physikalischer Seite ist die Konstruktion eines Farbendreieckes oder Vektorentripels (nach dem Vorgange von NEWTON, MAXWELL, HELMHOLTZ) üblich, in welches die Kurve der Spektrallichter als Funktion der Mischung von drei Grundlichtern nach der Schwerpunktsregel eingetragen erscheint (vgl. Fig. 2 und 3). Dabei muß jedoch die nahezu geradlinige Führung der Kurve in der Gelbregion zwischen Rot und Gelbgrün als ganz unberechtigt bezeichnet werden, da hier eine binäre Mischung an Sättigung deutlich zurücksteht gegachtet der Bemühungen seines Schülers A. KÖNIG erkannt hat; zu einer befriedigenden solchen brauchen wir vielmehr vier oder besser noch fünf Lichter — etwa L 700—670, L 570, L 500, L 470 und evtl. noch L 430 (vgl. dazu KÖNIG und DIETERICI, ABURY, TSCHERNING, HOUSTON, VENABLE, ROENNE, W. D. WRIGHT u. a.). In einer solchen Mannigfaltigkeit ist dann auch gleichzeitig Weiß (binär oder ternär) gegeben. Die Dreilichterökonomie dürfen wir auf Grund der kurz angeführten neueren Beobachtungen als irreführend und gewalttätig bezeichnen.

Wir gelangen demgemäß zur schematischen Darstellung der Farbenfläche nach Ton und Sättigung durch ein Viereck, dessen Ecken relativ scharf und dessen Seiten angenähert geradlinig anzusetzen sind, in dessen Schwerpunkt Weiß oder ein beliebiges Grau zu denken ist, und dessen vierte, dem Urrot entsprechende Ecke mit der anschließenden Purpurstrecke im Spektrum selbst fehlt, also nur virtuell — durch Mischung ohne Erreichen optimaler Sättigung — ergänzt werden

kann (vgl. Fig. 4). Nur ein solches Schema entspricht wirklich der Gesamtheit der Gesetze der Lichtermischung, auch dem Nachweis von drei Sättigungs(differenz)-Maxima im Spektrum und wird nicht bloß dem Einzelsatze von der Dreilichterökonomie für den Farbenton gerecht. Mit dieser Feststellung sei noch nicht eine Theorie des

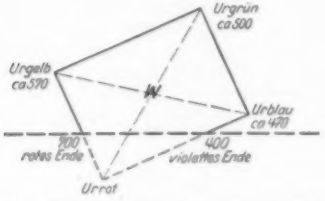

Fig. 4. Viereckiger Linienzug der Spektrallichter um den Schwerpunkt (W = entsprechend Weiß) mit fehlender bzw. ergänzter Urrotecke.

Farbensinnes vorweggenommen; allerdings darf eine solche nicht in Widerspruch stehen mit den in unserem Viereckschema kurz zusammengefaßten Fundamentalsätzen!

II. Dreikomponentenlehre, Vierfarbenlehre und Rezeptor-Reagententheorie des Farbensehens.

Neuere Tatsachen auf dem Gebiete der Lichtermischung hatten uns zu dem Ergebnis geführt, daß das übliche Schema des Farbendreieckes oder Vektorentripels überhaupt nur bei Wahl einer tatsächlich vierfarbigen Lichterschar und auch da nur zur zahlenmäßigen Charakterisierung des Farbentones verwendbar ist, nicht aber zur Festlegung aller „Farben" ausreicht, wenn wir darunter nicht bloß die Farbentöne, sondern auch die Sättigungsstufen und Nuancen verstehen. Nur ein Linienzug mit vier Knickungen, von denen im Spektrum allerdings nur drei Ecken — den eintonigen Kardinalpunkten entsprechend — vertreten sind, während die Urrotecke fehlt, wird den Tatsachen der Empfindungsanalyse und der Lichtermischung voll gerecht. Die noch vielfach übliche Dreilichterökonomie genügt nur für den Farbenton, erweist sich hingegen sonst als unzulänglich und irreführend. Auch muß betont werden, daß zwischen Wellenlänge und Farbenton, ebenso wie zwischen Lichtstärke und (subjektiver) Helligkeit zwar ein Zusammenhang, nicht aber eine einfache konstante Funktionsbeziehung besteht, vielmehr Typus, Individualität, jeweiliger Zustand und Umgebungskontrast — also physiologische Momente neben den physikalischen Faktoren — wesentlich mitentscheiden. Die paarweise Alternanz zwischen bestimmten farbigen Lichtwirkungen — die sog. Komplemenz zwischen Rot und Grün, Gelb und Blau — haben wir, HERING folgend, als physiologische Subtraktion oder Kompensation der gegenfarbigen Reizwirkung aufgefaßt, wobei sich hingegen die Weißreizwirkungen beider Lichter addieren. Wir erschließen eben für jedes farbige Licht, gleichgültig ob physikalisch homogen oder komplex, eine *doppelte* Wirkung auf das Auge, nämlich eine farbige, ein- oder zweitonige Komponente und eine farblose: wir schreiben daher (mit HERING) jedem Lichte eine einfache oder doppelte farbige Valenz und einen Weißreizwert zu. Die Verteilung der Weißvalenzen im Spektrum ist verschieden je nach dem Zustande des Auges, je nach seiner Hell- oder Dunkelstimmung, nicht nach der Lichtstärke an sich (TSCHERMAK); beim Tagessehen zeigt die langwellige Hälfte des Spektrums — auch beim Farbloserscheinen im stark indirekten Sehen (Bestimmung der sog. Peripheriewerte nach J. v. KRIES und TSCHERMAK) — relativ größere Helligkeit als die kurzwellige Hälfte mit Maximum im Gelb um 570 $\mu\mu$ (entsprechend etwa 555 $\mu\mu$ bei Energieausgleichung); beim Dämmerungssehen gilt das Umgekehrte mit Maximum im Grün um 520 $\mu\mu$ (entsprechend etwa 507 $\mu\mu$ bei Energieausgleichung) — wesentliche Grundlage des PURKINJEschen Phänomens.

Es ist selbstverständlich, daß die angeführten Tatsachen der Lichtermischung (paarweise Alternanz, Sättigungsdifferenz, Vierkomponentigkeit der drei Grundlichter), wie das Verhalten der Reizeffekte einzelner Lichter (Selbständigkeit der vier Grundfarben, Abhängigkeit der Lage der Kardinalpunkte von der farbigen Stimmung, Abhängigkeit der Helligkeit auch beim Farbloserscheinen vom Zustande des Auges) Instanzen bedeuten, denen jede Theorie des Farbensehens gerecht werden muß, soll ihre Beibehaltung berechtigt und fruchtbar erscheinen.

Prüfen wir daraufhin die Dreikomponentenlehre, sei es in der älteren Fassung der Dreifarbenlehre (MAXWELL — noch vertreten von ÖHRWALL sowie W. T. M. FORBES), sei es in der neueren Form, daß die Netzhautzapfen, speziell der Fovea einer dreifachen Erregung fähig seien oder dreierlei photochemische Reizvermittler enthielten (bereits vorgeahnt von YOUNG und HELMHOLTZ, speziell vertreten von J. v. KRIES, KÖNIG, F. EXNER, IVES, LAZAREFF, FEDOROW), so gelangen wir zu einem durchaus unbefriedigenden Ergebnis. In dem von YOUNG und HELMHOLTZ entworfenen Diagramm (Fig. 5A) von drei über das ganze Spektrum ausgedehnten Erregbarkeitskurven — beispielsweise mit Maxima im Gelb, Gelbgrün, Violett — entspricht die vertikal schraffierte Koinzidenzfläche dem Gelb, die horizontal schraffierte dem Blau, die doppelt schraffierte dem Weiß. Dies tritt noch deutlicher hervor, wenn wir eine Umzeichnung des Diagramms in ein Valenzkurvenschema nach Art des später zu behandelnden HERINGschen vornehmen (Fig. 5B). Schon das unbestreitbare Datum der Empfindungsanalyse, daß Gelb- und Weißdurchaus einfache, nicht irgendwie zusammengesetzte Empfindungen bzw. Zentralerregungen darstellen, bedeutet eine fundamentale Schwierigkeit für eine solche Auffassung. Gewiß wird dieselbe der Verteilung der Farbentöne im Spektrum

und der Doppelwirkung jedes Lichtes auf das Auge im Sinne einer farbigen und einer Weißvalenz gerecht, jedoch bleibt die sehr wesentliche Diskrepanz bestehen, daß der Gipfel der Koinzidenzfläche aller drei Kurven, d. h. der Weißvalenzkurve jenseits des reinen Gelb in die Grünregion zu fallen kommt, was dem Verhalten beim Tagessehen

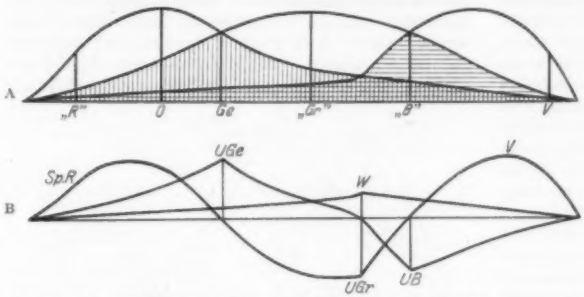

Fig. 5. A. Diagramm der spektralen Erregbarkeitskurven der drei Komponenten nach YOUNG und HELMHOLTZ,
B. Umzeichnung dieses Diagramms in ein Valenzkurvenschema nach Art des HERINGschen.

durchaus widerspricht. Tatsächlich fällt ja dabei das Maximum der Kurven der Weißvalenzen (bzw. farblosen Peripheriewerte) in die Gelbregion, nur beim Dämmerungssehen in die Grünregion — ebenso wie das Maximum der Gelbvalenzkurve, während nach dem obigen Dreikomponentenschema, mag das Detail der Kurven wie immer gewählt erscheinen, die dem Gelb entsprechende binäre und die dem Weiß entsprechende ternäre Koinzidenzfläche niemals ihre Gipfel am gleichen Orte haben können. (Dieser Schwierigkeit läßt sich nur begegnen durch die tatsächlich von ABNEY und von F. EXNER gemachte Hilfsannahme, daß die drei Elementarkurvenflächen nicht inhaltsgleich seien und der Empfindung Weiß ein von der Ordinatenkoinzidenz bezw. der Relation 1 : 1 : 1 abweichendes charakteristisches Erregungsverhältnis entspräche.) Auch wäre nach obigem Schema für das reine Gelb im Spektrum eine relativ geringe Sättigung zu erwarten, während tatsächlich dieses ebensogut ein Maximum an Sättigungsdifferenz gegenüber den binären Mischungen von Nachbarlichtern darstellt wie das Urgrün und das Urblau (vgl. oben).

Erblickt man im Sinne der in weiterer Fassung sehr wohl annehmbaren und fruchtbaren Duplizitätstheorie (M. SCHULTZE, KÜHNE, CHARPENTIER, PARINAUD, KÖNIG, LUMMER, J. v. KRIES) in den Netzhautstäbchen — einschließlich der immerhin zurückstehenden Foveazapfen — die Vermittler des Dämmerungssehens, so kommt zwar diesen entsprechend der Absorptionskurve des in ihnen enthaltenen Sehpurpurs eine Erregbarkeitskurve — ähnlich wie im YOUNG - HELMHOLTZschen Schema — mit relativ niedrigen langwelligen, relativ hohen kurzwelligen Ordinaten und Maximum im Gelbgrün bei etwa 520 $\mu\mu$ im Normalspektrum, 507 $\mu\mu$ im isenergetischen Spektrum zu; auch erscheint die Weißempfindung des Dunkelauges ihrer analytischen Einfachheit entsprechend einkomponentig begründet. Hingegen bleiben für das dreikomponentig begründet gedachte Weiß des Hellauges die oben angedeuteten Schwierigkeiten bestehen; ja zu diesen kommt noch die Tatsache hinzu, daß sich auch beim Tagessehen die Weißerregbarkeit oder Weißermüdung von der farbigen Erregbarkeit oder Ermüdung prinzipiell unabhängig erwiesen hat, also nicht einer gleichmäßigen Beanspruchung der drei Farbenkomponenten entsprechen kann. (Bei Verwendung höherer Lichtstärke und Einwirkungsdauer kann infolge einer allgemeinen chromatischen Lichtwirkung, d. h. Minderung der farbigen Verstimmbarkeit oder Verschieblichkeit der Kardinalpunkte, der Anschein einer Abhängigkeit beider Erregbarkeiten hervorgerufen werden — speziell HERING und BRÜCKNER, DITTLER und RICHTER, GOLDMANN gegenüber J. v. KRIES). Mit der Nötigung an Stelle des Dreikomponentenweiß einen selbständigen Weißprozeß nicht bloß in den Stäbchen, sondern auch, speziell für das Tagessehen, in den Zapfen anzunehmen, entfällt wieder ein wesentliches Argument, welches die Dreikomponententheorie zu Unrecht aus dem Tatbestand der Lichtermischung herbeigeholt hatte.

All die angeführten Einwände gegen eine wie immer geartete Dreikomponententheorie bleiben bestehen, wie immer man die drei Komponenten bzw. die als ihnen an Farbencharakter entsprechenden drei Grundlichter wählt — sei es mit:

MAXWELL: Rot (630), Grün (530), Violett (457);
HELMHOLTZ: äußerstes Spektralrot, ja Rot darüber hinaus gegen Purpur zu, komplementär zu 497, Grün (560—540), Ultramarinblau;
KÖNIG (1893): infraspektrales Rot gegen Purpur zu, Grün (505), Blau (470);
F. EXNER: infraspektrales Rot, komplementär zu 494, Grün (508), Indigo-Blau (475).

Daß dabei die erst durch scheinbare Synthese zu gewinnende vierte Farbqualität, nämlich das Gelb, um so unsatter ausfällt, je weiter abstehend im Spektrum die Rot- und die Grünkomponente gewählt wird, und daß die vierte Farbe geradezu ganz ausfällt, wenn als erste Komponente infraspektrales Rot (also angenähert Urrot), als zweite etwa Urgrün ((505—508) gewählt wird, braucht kaum noch hervorgehoben zu werden. Auch eine Einschränkung des Dreikomponentenprinzipes auf die Peripherie, d. h. auf den Aufnahmeapparat oder retinalen Reizvermittler — bei Geltenlassen des Vierfarbenprinzipes für die zentralen Stationen, speziell für die psychophysische Sphäre (so BERNSTEIN, J. v. KRIES) — überhebt uns nicht der

Schwierigkeiten. Die Lehre von drei nur peripheren Komponenten des Farbensinnes fußt ebenso wie die Theorien von drei durchgehenden solchen auf der Scheinökonomie der Lichtermischung und wird nur dem Umstande gerecht, daß sich die Mischungseffekte an Farbenton, nicht aber an Sättigung und Nuance durch drei geeignete Variable mathematisch charakterisieren lassen. Hingegen widerspricht sie der Tatsache der Selbstständigkeit der farblosen Erregbarkeit gegenüber der farbigen, sowie der Tatsache der Vorzugsstellung der drei spektralen Kardinallichter — und zwar nicht bloß des Urgrün und Urblau, sondern ebensogut des Urgelb — als intensitäts-, ermüdungs- und regionalinvarianter Punkte und als Sättigungsdifferenzmaxima. Dem besonderen Charakter des Gelb und des Weiß gegenüber versagt das Dreikomponentenprinzip meines Erachtens rettungslos!

Mit Recht waren bereits LIONARDO DA VINCI, MACH, AUBERT vorahnend zur Aufstellung von sechs einfachen oder Prinzipalfarben gelangt. Den entscheidenden Fortschritt zu einer eigentlichen Vierfarbentheorie hat aber erst E. HERING mit seiner Lehre von den drei Paaren von Gegenfarben gebracht, deren Prinzip ja auch die messende Charakterisierung und Farbennormung nach W. OSTWALD adoptiert, welche Farbenton, Sättigung oder Reinheitsgrad und Weißgehalt durch je zweiziffrige Zahlen ausdrückt, ohne jedoch bei der Abhängigkeit aller Empfindungsqualitäten von physiologischen Faktoren zu einer erschöpfenden „Festlegung" gelangen zu können. Auch die theoretischen Aufstellungen von CH. LADD-FRANKLIN gehen von den Grundvorstellungen der Vierfarbenlehre aus. Als wesentliche Sätze HERINGS von bleibender Bedeutung seien hier nur hervorgehoben: die Erfassung der paarweisen Gegensätzlichkeit der 4 Grundfarben, sodann die Erkenntnis des dauernden Nebeneinandervorkommens von Weiß und Schwarz im zentralen Eigengrau und der nur alternativen Verstärkbarkeit von Weiß oder Schwarz sowie der nur alternativen Hinzufügbarkeit von Rot oder Grün, Gelb oder Blau (präterminaler Antagonismus nach TSCHERMAK), endlich die Aufstellung einer Doppelwirkung der farbigen Lichter aufs Auge entsprechend einer ein- oder zweitonigen farbigen Valenz und einer Weißvalenz, womit die prinzipielle Selbständigkeit der farbigen und der farblosen Erregungen, das Gegebensein eines Weiß-Schwarzprozesses, eines Rot-Grünprozesses, eines Gelb - Blauprozesses statuiert erscheint. HERINGS Theorie wird in dieser, das Wesentliche heraushebenden Fassung in hohem Maße allen Tatsachen der Empfindungsanalyse wie der Lichter- und Pigmentmischung gerecht. Allerdings kann dabei nicht mehr die ursprüngliche Annahme einer Konstanz der relativen Reizwerte für ein und dasselbe Auge vertreten werden; erweisen sich doch farblose Gleichungen als zwar nicht von der Lichtstärke an sich, wohl aber als in beträchtlichem Maße von der Hell-Dunkelstimmung abhängig (TSCHERMAK). Von der allgemeinphysiologischen Einkleidung, welche HERING seiner Theorie der Gegenfarben gegeben hat, und die oft mit Unrecht als ihr wesentlicher Inhalt betrachtet wird, sei hier ganz abgesehen.

Auf diesen Grundlagen fußend, habe ich folgenden Weiterbau einer Theorie des Farbensinnes versucht. Dieselbe übernimmt von HERING die Aufstellung von vier urfarbigen Valenzkurven im Spektrum, welche zunächst rein schematisch entworfen seien, und fügt dazu zwei Weißvalenzkurven für Tages- und Dämmerungssehen (vergleiche in rectilinearer Darstellung Fig. 6A, in

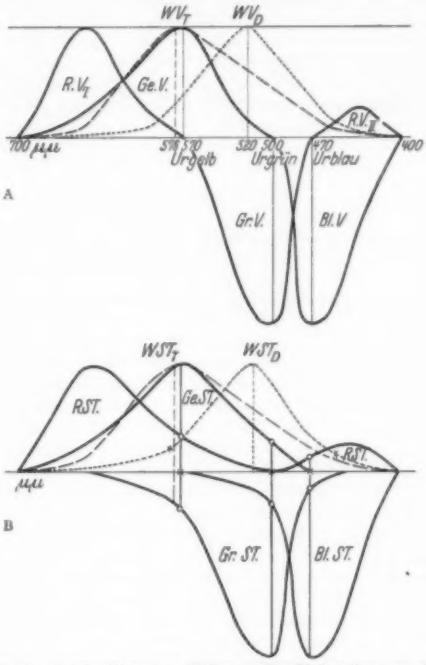

Fig. 6. A. Rectilineares Schema der Valenzkurven der Lichter des Normalspektrums im Sinne HERINGS. B. Abgeleitete Absorptionskurven der sechs Sehstoffe und zwar des Rot-, Gelb-, Grün-, Blau-Sehstoffes (RSt., GSt., GrSt., BSt.) sowie des Weiß-Sehstoffes für Tagessehen (WStT.) und des Weiß-Sehstoffes für Dämmerungssehen (WStD.).

polarer Darstellung Fig. 7). Im Anschluß an die Zonentheorie sei zwar nicht einfach zwischen peripheren und zentralen Einrichtungen unterschieden und für beide ein verschiedenes Differenzierungsprinzip (Dreigliedrigkeit dort, Viergliedrigkeit hier) angenommen, wohl aber sei die Unterscheidung getroffen zwischen dem wohl photochemischen Reizvermittler oder Photoreceptor einerseits, in welchem die entscheidende Lichtabsorption stattfindet, und dem erst durch diesen erregten nervösen Anteil oder Reagenten anderer-

seits. Für den von der Peripherie bis ins Zentrum reichenden nervösen Anteil gilt die Annahme von drei Paaren gegensinniger Erregbarkeit. Im Photoreceptor werden hingegen zwei verschiedengeartete Sehstoffe für Vermittelung der nervös einheitlichen Weißerregung beim Tagessehen und beim Dämmerungssehen angenommen; der letztere dürfte mit dem Sehpurpur identisch sein. Unabhängig davon seien nicht drei, sondern (mindestens) vier selbständige Farbsehstoffe, also eine Sechsgliedrigkeit des Photoreceptors angenommen, während für den nervösen Reagenten sechs in paarweisem Gegensatz

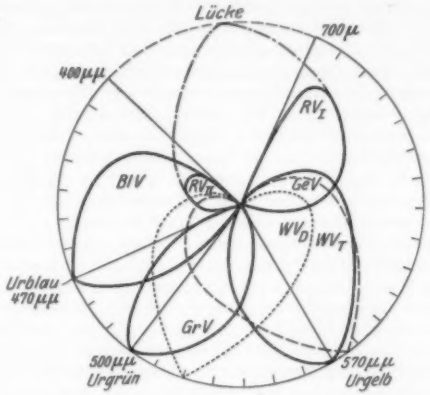

Fig. 7. Schema der Valenzkurven der Lichter des Normalspektrums in polarer Darstellung bei Wellenlängenmaßstab im Winkelmaß.

verknüpfte oder gegenfarbige Erregbarkeitskomponenten — nämlich Weiß-Schwarz, Rot-Grün, Gelb-Blauerregbarkeit — bestehen. Unter der wohlbegründeten Voraussetzung, daß sich die photochemischen Wirkungen auf den Rot- und den Grünsehstoff bzw. Gelb- und Blausehstoff algebraisch summieren, also gleichstarke ohne Effekt bleiben, läßt sich dem Schema der Verteilung der manifesten farbigen Valenzen im Spektrum ein Schema der Receptorenkurven an die Seite stellen, in welchem die Absorptionskurven der anzunehmenden Farbsehstoffe nicht wie die Valenzkurven scharf aneinandergrenzen, sondern in erheblichem Ausmaße übereinandergreifen (vgl. Fig. 6B). Zu dieser Vorstellung nötigt die Erfahrungstatsache, daß sich die spektralen Kardinalpunkte durch farbige Verstimmung weitgehend verschieben lassen — ja, durch Gelbermüdung das Urrot sogar zum Hereinrücken ins Spektrum gebracht werden kann. Diese paar Andeutungen über eine Receptor-Reagententheorie des Farbensehens mögen genügen, um die Richtung zu bezeichnen, nach welcher ein fruchtbarer Ausbau der Lehre vom Farbensehen möglich ist, der allen gegenwärtig bekannten Tatsachen gerecht wird und nicht in unlösbaren Widerspruch mit solchen gerät, wie dies von der Dreikomponententheorie gesagt werden muß.

Zum Schluß nur noch ein Wort bezüglich der Natur des Schwarzprozesses! Der Einwand, daß Schwarz keine positive Empfindung sein könne, da ihm physikalisch Lichtmangel und damit Fehlen eines Reizes entspräche, ist leicht zu entkräften. Natürlich dürfen nicht irgendwelche Strahlungen als Auslöser der Schwarzempfindung postuliert werden! Vielmehr erweist sich das Schwarz als endogene Komponente des Eigengraus, welches auch bei lichtdicht abgeblendeten Augen besteht, und auf welches wie auf einen Hintergrund sich die exogenen Empfindungen draufsetzen. Das einer lichtlosen oder lichtschwachen Gesichtsfeldstelle benachbarte oder gar sie umgebende Weiß ist es, welches das Schwarz im Sehorgan verstärkt: es handelt sich also um eine indirekte Lichtwirkung, um eine sekundäre, induzierte Nebenwirkung der primären Weißerregung, um einen Kontrasteffekt. Die Unmittelbarkeit und Zwangsläufigkeit des Schwarzeindruckes bei all den Erscheinungen des farblosen Rand- oder Umgebungskontrastes, wie sie auf den Stufenscheiben nach MACH, an der HERINGschen Grauskala, am Lichtkontrastkasten und Nuancierapparat nach HERING, an den SHERRINGTONschen Flimmerkontrastscheiben zu demonstrieren sind, gestattet keinen anderen Schluß als den, daß Schwarz eine positive elementare Empfindung ist ebensogut wie Weiß, mit dem einzigen Unterschied, daß die Grundlage dafür bloß im nervösen Reagenten gegeben ist, wo Schwarz einerseits primär im Zentrum dauernd vorhanden ist, andererseits sekundär in präterminalen (nicht bloß in peripheren!) Staffeln verstärkt werden kann, während ein Schwarzsehstoff im Photoreceptor fehlt.

Neuere Ergebnisse über den sozialen Wärmehaushalt der einheimischen Hautflügler.

Eine zusammenfassende Darlegung.

Von A. STEINER, Bern.

Die Bezeichnung „wechselwarme oder poikilotherme Tiere" bringt zum Ausdruck, daß die Körpertemperatur der betreffenden Lebewesen in gleicher Weise wechselt wie die Umgebungstemperatur. Dies gilt aber nur im allgemeinen, da sowohl beim Individuum wie namentlich auch in den zu einem Staate verbundenen Ansammlungen wechselwarmer Tiere erhebliche Temperaturerhöhungen auftreten können. Sie erlangen bei den *Insekten*, besonders bei den *sozialen Hautflüglern*, eine große biologische Bedeutung, indem sie in den Dienst der Brutpflege treten. Das Verhalten des einzelnen Individuums ist dabei auf die Erzeugung und Erhaltung des Entwicklungsoptimums der Brut ge-

richtet; aus der Gesamtheit dieser Leistungen geht der *soziale Wärmehaushalt* hervor. Dieser läßt in seiner Ausbildung und Leistungsfähigkeit verschiedene Stufen erkennen, von denen hier zunächst die drei höchsten zur Darstellung gelangen sollen.

Bei der *Honigbiene* liegt seit REAUMUR, also seit 200 Jahren, eine Reihe von Beobachtungen vor, die aber erst in den letzten 15 Jahren zu einwandfreien Untersuchungen führten. Nachdem amerikanische Forscher, GATES (1914) und PHILLIPS und DEMUTH (1914), das Problem des thermischen Verhaltens des Bienenstaates neu aufgegriffen hatten, folgten Arbeiten von ARMBRUSTER (1923, 1924), HIMMER (1925, 1926, 1927a, b) und HESS (1926). Übereinstimmend stellen alle Autoren fest, daß die Temperatur des *brütenden* Bienenvolkes (Februar bis August) zwischen 35 und 36° liegt und daß ein einzelner Meßpunkt sehr geringe Schwankungen aufweist (nach HESS 0,2—0,4° im Tage). Demnach verhält sich der Bienenstaat als Ganzes während der Brutzeit wie ein eigenwarmer Organismus. Die Brut ist auf diese Temperaturkonstanz angewiesen, da sich eine normale Entwicklung nur in der Temperaturzone von 32—36° vollzieht; unterhalb derselben entstehen Imagines mit verkümmerten Körperanhängen, oberhalb stirbt die Brut ab (HIMMER, 1927b).

Zu verschiedenen Ergebnissen gelangten die oben genannten Autoren aber für den Temperaturzustand des Bienenvolkes *außerhalb der Brutperiode* (Spätsommer bis Februar). Diese Divergenz läßt sich nicht allein durch die Verschiedenheit der äußeren Umstände erklären, vielmehr scheinen sich einzelne, durch innere Faktoren bestimmte Wärmetypen abzuzeichnen. Zunächst schien das winterliche Verhalten des Bienenvolkes durch eine Veröffentlichung von ARMBRUSTER (1923), der 30 Jahre zurückliegende Aufzeichnungen von LAMMERT neu bearbeitete, sehr klar und eindeutig zu sein. HESSE hat unter anderem die ARMBRUSTERsche Auffassung vor kurzem in dieser Zeitschrift gekennzeichnet (1929). Für das Zentrum der geschlossenen Wintertraube besteht eine Reiztemperatur von 13°, die den geschlossenen Klumpen zur Auflockerung bringt, indem sich die Einzeltiere lebhaft bewegen, Nahrung aufnehmen und die Stocktemperatur steigern. Innerhalb einer Stunde erfolgt ein Heizsprung, der sich durchschnittlich von 13,1 auf 25,2° bewegt, worauf wieder ein Zusammenschluß der Bienen und ein langsamer Temperaturfall eintritt, der nach durchschnittlich 22 Stunden abermals zur Reiztemperatur von 13° hinführt.

Ein solcher Rhythmus der Wintertemperatur wurde aber durch die Untersuchungen von HIMMER (1926) und HESS (1926) nicht bestätigt. Der erstere fand vielmehr, daß bei gleichmäßiger Außentemperatur, die nach ARMBRUSTER die LAMMERTschen Perioden am reinsten zum Ausdruck bringen soll, nur kleine Schwankungen der Traubentemperatur vorhanden sind, und daß die Heizsprünge als Gegenstöße äußerer Temperaturschwankungen, also ganz unregelmäßig, auftreten. Sie erfolgen auch nicht von einer einheitlichen Temperaturbasis der Traubenmitte heraus, da für ihr Eintreten nicht der Wärmezustand der Innen-, sondern der der Randbienen maßgebend ist, indem diese bei einer Abkühlung auf 8—10° an die untere Aktivitätsgrenze gelangen und durch Bewegungsreaktionen die beginnende Erstarrung aufzuheben suchen.

Zu ähnlichen Ergebnissen führten die Untersuchungen von HESS, der die Reaktionsstelle ebenfalls an den auf 7—8° abgekühlten Traubenrand verlegt, dabei aber zu einer besonderen Auffassung über die Luftzirkulation im Bienenstaate gelangt. Die veratmete, warme Luft soll nach unten gegen das Flugloch hin abgestoßen werden und dort ihren Wassergehalt abgeben, während die frische, vorerwärmte Atmungsluft von oben her nachgesogen wird. Die biologische Bedeutung dieser inversen Luftbewegung würde in einer Ökonomie der Wärmeenergie und in der Trockenhaltung des bienenfreien Raumes bestehen. BRUMAN (1928) hat die Richtigkeit dieser Auffassung durch die starke Kondensation von Wasserdampf an den unterhalb des Bienensitzes gelegenen Stellen der künstlich gekühlten Fluglochränder nachzuweisen gesucht.

Wenn demnach die Ansichten über den Temperaturgang im nichtbrütenden Bienenvolk im einzelnen auseinandergehen, so sind die *allgemeinen Züge* des winterlichen Verhaltens abgeklärt. Bei genügenden Nahrungsreserven wird die untere Aktivitätsgrenze von 7—8° nie überschritten, da der Wärmeverlust stets wieder, stoßweise oder in gleichmäßigem Flusse, ausgeglichen wird. Worauf beruht nun dieser Wärmenachschub?

Im *Winter* kann nur eine einzige Wärmequelle, die *chemische Wärmeproduktion*, in Betracht fallen. Schon PHILLIPS und DEMUTH stellten durch unmittelbare Beobachtung fest, daß der Temperaturanstieg durch Ortsbewegungen, Hinterleibsschütteln und Flügelfächeln der Bienen verursacht wird; so stieg die Temperatur eines Meßpunktes durch das in der Nähe stattfindende, $7^1/_2$ Minuten dauernde Fächeln eines Arbeiters um $^1/_2$° F = 0,278° C. Körpermessungen an Honigbienen, die HIMMER 1925 auf thermoelektrischem Wege vornahm, ergaben einen durchschnittlichen Wärmeüberschuß des Bienenkörpers von 12,4°, der, wenn auch zur Hauptsache eine Reizerscheinung darstellend, doch die Möglichkeit erheblicher Temperaturüberschüsse durch physiologische Prozesse erweist.

Diese physiologische Wärmeerzeugung ist aber praktisch auf die *Imagines* beschränkt; denn die Brut reguliert in so geringem Maße, daß eine merkbare Einwirkung auf die Nesttemperatur ausgeschlossen ist (HIMMER, 1927). Dies wird auch durch neue Messungen von BRUMAN und LIECHTI (1929) festgestellt, bei denen die Temperatur der Brutzellen sogar in geringem Maße hinter der Stocktemperatur zurückblieb (33,6—34,1°, anstatt 35,6°) und die Temperatur der Drohnenbrutzellen um 0,3 bis 0,5° niedriger war als die der Arbeiterinnenzellen.

Im *Sommer* setzt die äußere Wärmelage die Nesttemperatur auf ein höheres Niveau, das auf das Entwicklungsoptimum von 35° hinaufreguliert wird; zeitweise könnte sogar eine *Überhitzung*, die der Brut besonders gefährlich wird, eintreten, wenn nicht die Imagines über eine wirksame Ventilation, das *gruppenweise Fächeln*, verfügen würden. Gestützt auf eine Beobachtung, die bei einer Umgebungstemperatur von 38,2—40° eine 36° kaum übersteigende Nesttemperatur ergab, glaubt HESS, in solchen Fällen noch ein zweites Hilfsmittel zur Temperaturerniedrigung annehmen zu müssen, das *Verdampfen von eingetragenem Wasser*. Obschon meines Wissens eine direkte Beobachtung dieses Vorganges bis jetzt nicht möglich war, scheint mir, gestützt auf eigene Untersuchungen an der Feldwespe, die später zur Darstellung kommen sollen, die HESSsche Annahme auch für die Honigbiene gerechtfertigt.

Ähnliche, wenn auch nicht so ausgesprochene Züge wie der Wärmehaushalt der Honigbiene, weist der der *höheren Faltenwespen* auf, von denen *Vespa crabro* durch JANET (1895a und 1895b) und *Vespa vulgaris* durch HIMMER (1925, 1927b) untersucht wurden. Seine Grundlage beruht auch hier auf einer Steigerung der Körpertemperatur des Individuums durch Bewegungen, die nach Messungen HIMMERS (1925) durchschnittlich 10,48° erreicht. Sie bleibt damit um 2° hinter der Durchschnittsleistung des Bienenkörpers zurück, und dieser Umstand vermag auch das besondere Verhalten der Nesttemperatur während der Brutzeit zu erklären, indem wohl ein erhöhter Wärmezustand des Nestes, nicht aber eine völlige Temperaturkonstanz erzielt wird. Die Schwankungen der Umgebungstemperatur werden mithin durch die chemische Wärmeregulation nicht völlig kompensiert; sie spiegeln sich, verzögert und abgebremst, im Temperaturgang des Nestes wider. Immerhin betrug der mittlere Temperaturüberschuß eines Nestes von *Vespa vulgaris* über die Außentemperatur während einer sommerlichen, fünfwöchigen Beobachtungsperiode 12,27°. Mit den Schwankungen der Nesttemperatur steht das physiologische Vermögen der Wespenbrut, unteroptimale Temperaturzustände ohne Schädigung durchzuhalten, in Übereinstimmung (HIMMER 1927b).

Außer der chemischen Wärmeproduktion beteiligen sich noch *physikalische Faktoren*, Exposition des Nestes nach Süden, Einbau in abgeschlossene Räume und Isolation der Waben durch Nesthüllen, an der Erhöhung der Bruttemperatur. Obschon diese äußeren Umstände für den allgemeinen Wärmezustand des Nestes eine geringere Bedeutung als die chemische Wärmeerzeugung besitzen, so liegt doch die Möglichkeit einer stoßweisen Steigerung ihrer Wirksamkeit im Hochsommer vor, so daß überoptimale Nesttemperaturen entstehen können. Ihre Ausschaltung ist noch nicht festgestellt worden; wahrscheinlich werden von den Nestinsassen die gleichen Mittel, Fächeln und Wassertransport, wie sie für die noch zu besprechende *Feldwespe* gelten, angewendet. Darauf weist die Beobachtung hin, daß die Arbeiter der genannten Faltenwespen an heißen Tagen unermüdlich an Wasserstellen erscheinen.

Das noch zugunsten der chemischen Wärmeproduktion bestehende Verhältnis zwischen den inneren und äußeren, am Wespennest beteiligten Wärmefaktoren kippt bei der *Waldameise* (*Formica rufa*) in die entgegengesetzte Lage um. Der gesteigerte Wärmezustand des Nestes beruht hier im wesentlichen auf der besonderen Ausnützung der äußeren, *physikalischen* Verhältnisse: Ein aus Erde und pflanzlichen Stoffen erstellter, mit zahlreichen inneren Lufträumen versehener Kuppelbau befindet sich in nach Süden gerichteter, windstiller Lage. Die je nach den Einstrahlungs- und Niederschlagsverhältnissen von der Halbkugel bis zum Konus zweckmäßig wechselnde Form der Kuppel (WASMANN 1897) dient als Wärmeauffang, wie dies von FOREL (1893, 1920) und anderen hervorgehoben wurde. Den relativ stärksten Wirksamkeitsgrad erreicht sie hierin bei den niederen Sonnenständen; so ergibt die mathematische Berechnung für die geographische Breite von Bern (47°), daß eine halbkugelförmige Kuppel am Mittag des 21. Dezember zweimal, an den Tag- und Nachgleichen $1^1/_4$mal und am 21. Juni 1,05mal mehr Sonnenstrahlen erhält als ihre Horizontalfläche (STEINER 1929). Für die höheren Breitengrade verschiebt sich dieses Verhältnis immer stärker zugunsten der Kuppel. Zu dem gesteigerten Wärmeauffang treten nun noch einige Mittel zur *Herabsetzung des Wärmeverlustes*, vor allem die aus pflanzlichem Material, also einem schlechten Wärmeleiter bestehende, dicke Kuppeldecke, die inneren, wärmeisolierenden Luftkammern und der nächtliche Verschluß der Nestöffnungen. Auf diese Weise wird in den besten Fällen eine Temperatur des durchschnittlich in einer Tiefe von 30 cm liegenden Nestzentrums erreicht, die sich im Sommer oft längere Zeit zwischen 23 und 29° bewegt und 10° über der entsprechenden Bodentemperatur steht (STEINER 1924). Die in den oberen Lagen des Kuppelbaues von Stelle zu Stelle mit dem Sonnenstande wechselnden Temperaturverhältnisse werden durch unermüdliche *Brutverschiebungen* möglichst optimal ausgenützt, und in entsprechender Weise, durch Abtransport in tiefere Nestteile, wird eine Überhitzung der Brut umgangen.

Die *chemische Wärmeproduktion* der Nestinsassen tritt gegenüber diesen physikalischen Wärmefaktoren zurück; sie wirkt aber zeitweise durch die Konzentration des Staates, namentlich in kühlen Sommernächten, mit, was aus dem zuweilen eintretenden Ansteigen der Nesttemperatur während der Nacht hervorgeht.

Im *Winter* befinden sich die kältestarren Ameisen meistens in so tief gelegenen Nestteilen, daß ihre mit der Umgebung übereinstimmende Körpertemperatur noch über dem Gefrierpunkt liegt (STEINER, 1925).

Überblicken wir nunmehr die drei gekennzeichneten Wärmetypen, *Honigbiene*, *höhere Falten-*

wespen und *Waldameise*, so werden sie zu einer *höheren Gruppe* zusammengeschlossen durch die Fähigkeit, auf physiologischem Wege Wärme zu erzeugen und dauernd oder periodenhaft Wärmebedingungen hervorzubringen, die dem Entwicklungsoptimum der Brut entsprechen oder angenähert sind. Freilich ist diese Fähigkeit und damit die Unabhängigkeit des Wärmehaushalts von der Umgebungstemperatur durch den verschieden hohen Ausbildungsgrad der chemischen Wärmeproduktion deutlich in der Reihenfolge, in der die drei Typen zur Behandlung kamen, abgestuft. Außerdem schiebt sich noch ein weiterer, auch schon berührter Umstand trennend in diese Gruppe, der die vertikale Schichtung noch in zwei *Parallelreihen* zerlegt, wobei die wabenbauenden Formen, Honigbiene und höhere Faltenwespen, der einen, die Waldameise der anderen Reihe angehören. Es betrifft dies die nach zwei verschiedenen Richtungen vorgenommene Ausschaltung der überoptimalen Wärmebedingungen. Im Wabenbau ist die Brut an Ort und Stelle gebunden; hier wird die Temperatur des Nestes selber durch Fächeln und Wassertransport umgestellt; bei der Waldameise ist die Brut mobil; sie wird verlagert und die Nesttemperatur bleibt unbeeinflußt.

Wenn wir uns nunmehr noch den *anderen* sozialen Wärmehaushaltern unter den Hautflüglern zuwenden, so müssen sie zu einer Gruppe vereinigt und der vorigen als *niedrigere* gegenübergestellt werden durch den Umstand, daß bei ihnen eine Mitwirkung der chemischen Wärmeproduktion nicht nachzuweisen ist. Der Wärmehaushalt beschränkt sich demnach auf eine Ausnützung der äußeren, physikalischen Bedingungen. Da dies in einer verschieden hoch ausgebildeten Form geschieht, so kann auch diese Gruppe vertikal geschichtet werden; außerdem trennen sich auch hier die beiden *Parallelreihen* der *wabenbauenden* Hautflügler und der *Ameisen* durch das verschiedene Verhalten gegenüber der Nestüberhitzung.

Von den Wabenbauern wurde schon mehrmals die *Feldwespe*, *Polistes gallica*, als einfache Form erwähnt; ihre frei nistende, schwärzlich gefärbte Abart, *P. biglumis L.*, wurde vom Verfasser einer eingehenderen Untersuchung unterzogen (STEINER 1930). Es ergab sich dabei, daß das hüllenlose und stets sonnig gelegene Nest rasch in den Bereich höherer Wärmegrade gelangt, um allerdings nach dem Aufhören der Sonnenstrahlung ebenso schnell wieder abzufallen, so daß die Nesttemperatur zunächst vollständig den äußeren Bedingungen zu entsprechen scheint. Dieses Bild ändert sich aber, wenn das Nest auf etwa 35° erwärmt ist. Bei einer weiteren Steigerung der äußeren Wärmeverhältnisse schlägt der Temperaturgang des Nestes seinen eigenen Weg ein; er bleibt solange in der Temperaturzone von 34—37,5°, als die äußeren Verhältnisse noch höhere Wärmegrade bedingen würden. In der angeführten Untersuchung wurde für 6 Sonnentage eine mittlere Nesttemperatur von 35,43°, die augenscheinlich dem Entwicklungsoptimum entspricht, festgestellt, während die Durchschnittstemperatur eines leeren Kontrollnestes unter den gleichen Umständen 47,47° betrug. Die Mittel für diese Regulation bestehen in einer Verbindung von Wassereintragen und Fächeln der Imagines, besonders der Königinnen, wobei der Wassertransport in die einzelnen Wabenzellen, unter anderem auch vor die Deckel der Puppenzellen, der Beobachtung unmittelbar zugänglich ist. Die Menge des von einer Königin in einer Stunde auf etwa 90 Flügen eingetragenen Wassers kann 3,2 ccm, die dadurch entstandene Verdampfungswärme 1831 g Calorien betragen, so daß die in den Versuchen nachgewiesene Herabsetzung der Nesttemperatur um etwa 12° physikalisch durchaus verständlich ist.

Der Wärmehaushalt der *Feldwespe* geht demnach weder in der Erzeugung noch in der Erhaltung einer erhöhten Nesttemperatur über die einfachsten Hilfsmittel, die in günstigen Standortsbedingungen bestehen, hinaus; dagegen gestaltet er sich im Schutze vor Überhitzung sehr aktiv. Diese Maßnahme stellt demnach die erste Stufe in der Reihe der Instinkthandlungen dar, die den sozialen Wärmehaushalt der wabenbauenden Hautflügler bis zu dem eines eigenwarmen Organismus (Honigbiene) hinaufführen. Vom biologischen Standpunkt aus ist dies verständlich, da diese Reaktion infolge der Empfindlichkeit der Brut auf hohe Wärmegrade eine unmittelbare vitale Bedeutung hat.

Die Anfänge des Wärmehaushalts der *anderen Parallelreihe*, deren Schlußglied das Waldameisennest bildet, liegen bei verschiedenen *Ameisenarten*, wie *Myrmica rubida* und *rubra*, *Tetramorium caespitum*, *Formica fusca*, *Lasius niger* und *L. flavus*, die ihre Nester unter Steinen anlegen oder reine Erdkuppeln erstellen (STEINER 1929). Die einfachsten sozialen Wärmereaktionen bestehen hier in Brutverschiebungen nach den Stellen günstiger Wärmebedingungen und im Ausweichen vor extremen Temperaturen, ohne daß eigentliche Bauten erstellt werden. Fast zwangsläufig werden die Ameisen hierbei im Insolationsfeld unter die als schnelle Wärmevermittler wirkenden *Steine* geführt, um beim Eintreten eines Temperaturabfalls wieder in das Erdnest zurückzukehren.

Von hier aus tritt nun zunächst in den *kleineren Erdkuppelbauten* das Bestreben nach einem gesteigerten Wärmeauffang hervor, um nachher in den *größeren* und *dauerhafteren Erdkuppeln*, wie sie von *Lasius flavus* erstellt werden, noch eine Ergänzung im Sinne einer Wärmenachwirkung, also einer Wärmespeicherung, zu erfahren. Diese ist aber immer nur kurzfristig und vermag die nächtliche Abkühlung nicht zu überdauern. Erst durch das Auftreten des aus Erde und pflanzlichem Material *kombinierten Nestes*, dessen niedrigste Stufe durch die lockere, aus Blatt- und Stengelresten aufgebaute Nestkuppel von *Formica exsecta* dargestellt wird, erlangt die Wärespeicherung einen höheren Wirkungsgrad und verschafft dem Nestzentrum in den besten Fällen während der

Tabelle 1. *Übersicht über die Ausbildungsstufen des Wärmehaushaltes bei den einheimischen sozialen Hautflüglern.*

Wabenbauende Hautflügler		Ameisen	
Art und Nestbau	Kennzeichnung des betr. W.-haushalts (Höchstleistungen)	Art und Nestbau	Kennzeichnung des betr. W.-haushalts (Höchstleistungen)
3. *Apis mellifica* (Honigbiene). Nest ohne Hüllen, in geschlossenem Raum.	Nesttemperatur konstant. Äußerst aktive chemische Wärmeproduktion. Obere Grenze des Entwicklungsoptimums durch Fächeln u. Wassertransport aktiv reguliert.		
2. *Vespa vulgaris u. Vespa crabro* (Gemeine Wespe u. Hornisse). Nest mit Hüllen, in geschlossenem Raum.	Nesttemperatur schwankend aber dauernd oder periodenhaft höher als Umgebungstemperatur. Mitwirkung der chem. Wärmeproduktion. Wärmespeicherung. Obere Grenze des Entwicklungsoptimums aktiv reguliert wie 3.	5. *Formica rufa* (Waldameise). Kombiniertes Nest (Kuppelbau aus Erde und pflanzl. Material). Feste, geschlossene Kuppeldecke, viele und große innere Hohlräume.	Nesttemperatur schwankend, aber dauernd oder periodenhaft höher als Umgebungstemperatur infolge direkter Ausnützung der Sonnenstrahlung durch Kuppelbau, guter Wärmespeicherung u. Mitwirkung der chem. Wärmeproduktion. Obere Grenze des Entwicklungsoptimums durch Brutverschiebungen passiv reguliert.
		4. *Formica exsecta*. Kombiniertes Nest. Dünne, lockere Kuppeldecke. Viele kleinere innere Hohlräume.	Nesttemperatur periodenhaft schwach erhöht infolge Ausnützung der Sonnenstrahlung durch Kuppelbau u. Wärmespeicherung. Mitwirkung der chem. Wärmeproduktion fraglich. Regulation der oberen Grenze d. Entwickl.-Opt. wie 5.
		3. *Ameisen in größeren, dauerhaften Erdkuppeln* (Lasius flavus, L. niger).	Nesttemperatur während der täglichen Sonnenstrahlung erhöht infolge Ausnützung derselben durch Kuppelbau. Geringe Wärmespeicherung. Regulation d. oberen Grenze d. Entw.-Opt. wie 5.
1a. *Polistes gallica v. biglumis L.* (Feldwespe). Nest ohne Hüllen, in erhöhter, sonniger Lage.	Nesttemperatur während der täglichen Sonnenstrahlung erhöht infolge des hohen Wärmeabsorptionsvermögens des Nestmaterials. Keine Wärmespeicherung. Obere Grenze des Ent.-Opt. reguliert wie 3.	2. *Ameisen in kleinen vergänglichen Erdkuppeln und unter Steinen* (Form. fusca, Tetram. caespitum, *Myrmica*-Arten).	Nesttemperatur nur während der täglichen Sonnenstrahlung erhöht infolge Kuppelbau oder schneller Wärmeübertragung durch den Stein. Äußerst kurzfristige Wärmespeicherung. Regulation der oberen Grenze des Entw.-Opt. wie 5.
1. *Polistes gallica f. genuina* (Feldwespe). Nest ohne Hüllen, in geschlossenem Raum.	Nesttemperatur gleich Umgebungstemperatur. Obere Grenze des Ent.-Opt. reguliert wie 3.	1. *Ameisen in rein minierten Erdnestern* (z. B. Myrmica-Arten).	Nesttemperatur gleich Umgebungstemperatur. Regulation der oberen Grenze des Entw.-Opt. wie 5.

Tabelle 2. *Übersicht über die Wärmefaktoren.*

A. Der Wärmezustand der Nestinsassen wird gesteigert. (Die Umgebungstemperatur liegt unterhalb des Entwicklungsoptimums.)

I. *Durch Vermehrung des Wärmezuflusses.*

1. *Physikalische Faktoren.*

Ausnützung der erhöhten Umgebungstemperatur und der Sonnenstrahlung durch:

Standort in geschützter und nach Süden gerichteter Lage,

Befestigung des Nestes an erhöhten Gegenständen wie Felsen, Mauern, Pflanzenstengel (Feldwespe).

Kuppelbauten der Ameisen (Wirkung der niederen Sonnenstände),

Nestanlagen der Ameisen unter Steinen (Ausnützung der schnellen Wärmeübermittlung).

2. *Biologische Faktoren.*

Erzeugung von Eigenwärme durch die Imagines (chem. Wärmeproduktion), Verschiebung der Brut in wärmere Nestteile bei den Ameisen.

II. *Durch Einschränkung des Wärmeabflusses.*

1. *Physikalische Faktoren.*

Einbau des Nestes in geschlossene Räume.

Nesthüllen.

Kammerung des Nestes durch abgeschlossene Lufträume.

2. *Biologische Faktoren.*

Zusammenschluß der Imagines und der Brut zu geschlossenen Massen (Trauben oder Klumpen).

Regulation (Verschluß) der Nestöffnungen (Waldameise).

Tabelle 2. *Übersicht über die Wärmefaktoren.*
(Fortsetzung)

B. Der Wärmezustand der Nestinsassen wird herabgesetzt. (Die Umgebungstemperatur liegt oberhalb des Entwicklungsoptimums.)

Nur biologische Faktoren.

- Fächeln als Ventilation bei den wabenbauenden Arten.
- Wassertransport (Erzeugung von Verdunstungskälte durch die Wabenbauer).
- Verschiebung der Brut in kühlere Nestteile bei den Ameisen.
- Regulation (Erweiterung) der Nestöffnungen bei den Ameisen.
- Individuelle physikalische Wärmeregulation der Imagines und der Brut.

ganzen Nacht schwach erhöhte Temperaturen. Das *Waldameisennest* bildet nachher die Faktoren, die zu einer erhöhten Wärmespeicherung im bereits dargelegten Sinne führen, stärker heraus und fügt noch die chemische Wärmeproduktion als Kennzeichen der höheren Gruppe hinzu.

Als *Zusammenfassung* sind in den zwei nachfolgenden *Tabellen* sowohl die behandelten *Wärmetypen* als auch die dabei hervortretenden *Wärmefaktoren* übersichtlich geordnet. Bei den letzteren werden *physikalische* und *biologische* Faktoren einander gegenübergestellt. Die ersteren bestehen in andauernden oder periodisch wiederkehrenden äußeren Wärmeeinwirkungen, die von den Nestinsassen wohl einmal veranlaßt, aber *nicht stets von neuem* beeinflußt werden, während es sich bei den biologischen Faktoren um die thermischen Reaktionen der Nestinsassen handelt, die auf jeden *Wechsel* der äußeren Verhältnisse in zweckmäßiger Weise erfolgen. Ohne diese unmittelbaren Lebensäußerungen kommt bei dieser Faktorengruppe eine Wirkung nicht zustande.

Literatur.

L. Armbruster, Der Wärmehaushalt im Bienenvolke. Berlin 1923 — Arch. Bienenkde **6**, 29 (1924). — F. Bruman, Z. vergl. Physiol. **8**, 2 (1928). — F. Brumann u. M. Liechti, Z. vergl. Physiol. **9**, 2/3 (1929). — A. Forel, Die Nester der Ameisen. Zürich 1893 — Les Fourmis de la Suisse. La Chaux-de Fonds (1920). — B. N. Gates, Bull. U.S. depart. agric. **96** (1914). — W. R. Hess, Z. vergl. Physiol. **4**, 4 (1926). — R. Hesse, Naturwiss. **17**, 29 (1929). — A. Himmer, Erlanger Ib. Bienenkde. **3**, H. 1 (1925); **4** (1926); a) **5** (1927) — b) Z. vergl. Physiol. **5**, 2 (1927). — Ch. Janet, a) Hém. Soc. Zool. France **8** (1895) — b) C. r. Acad. Sci. Paris **120**, (1895). — E. F. Phillips u. G. S. Demuth, Bull. U.S. depart. agric. **93** (1914). — A. Steiner, Z. vergl. Physiol. **2**, 1 (1924) — Mitt. naturforsch. Ges. Bern **1925**, H. 1. — Z. vergl. Physiol **9**, 1 (1929); **11**, 3 (1930). — E. Wasmann, Vergleichende Studien über das Seelenleben der Ameisen und der höheren Tiere. Freiburg i. Br. 1897.

Zuschriften.

Der Herausgeber bittet, 1. im Manuskript der *Zuschriften* oder in einem Begleitschreiben die Notwendigkeit einer raschen Veröffentlichung an dieser Stelle zu *begründen*, 2. die Mitteilungen auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken. Bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Für die Zuschriften hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich.

Die Sternzeitperiode der Höhenstrahlung.

Messungen der Höhenstrahlung wurden vom 13. XI. 1929 bis 13. I. 1930 in Abisko (n. Br. 68° 21′, 388 m ü. M.) mit einem Kolhörster-Apparat, den Herr Büttner in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt hatte, gemeinsam mit K. Wikdahl ausgeführt. Der Apparat wurde alle 2 Stunden mit Ausnahme der Nachtzeit zwischen 0 und 6 Uhr abgelesen und befand sich in einem großen, oben offenen Eisenpanzer.

Wegen der bei diesem Instrument schon von Herrn Büttner beobachteten Abhängigkeit der Strahlungsstärken von der Spannung am Elektrometer [Z. Physik **45**, 591 (1927)] wurde hierauf ferner auf Luftdruck korrigiert und nach Sternzeit geordnet. Die halbmonatigen Mittelwertskurven sind in Fig. 1 wiedergegeben. Sie zeigen zwar den z. B. von Hoffmann und Lindholm, Gerl. Beitr. **20**, 12 (1928) und **22**, 141 (1929) hervorgehobenen starken Wechsel der Kurven von Monat zu Monat, aber die Mittelwerte der gesamten Beobachtungszeit (mit Ausnahme der Werte von 0 Uhr, was vielleicht ein Effekt der nördlicheren Breite ist) stimmen im wesentlichen mit den Messungen von Kolhörster, Salis, Büttner und Steinke überein, zeigen also die Sternzeitperiode. Die Ergebnisse sprechen dafür, daß die Unterschiede in den Kurven (in ihrem Gange) nach dem Befund der verschiedenen Forscher vielleicht durch den Wechsel der Höhenstrahlungsintensität selbst

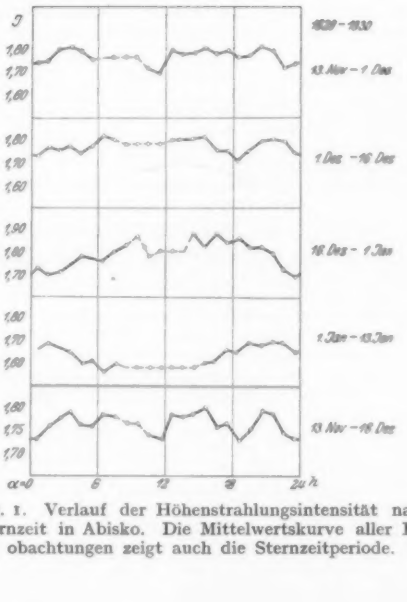

Fig. 1. Verlauf der Höhenstrahlungsintensität nach Sternzeit in Abisko. Die Mittelwertskurve aller Beobachtungen zeigt auch die Sternzeitperiode.

bedingt sind. Vor allem aber kehrt die wohlbekannte Sternzeitkurve immer wieder und herrscht bei längeren Beobachtungsreihen stets vor.

Daß also jede genügend lange Meßreihe mit oben offenem Panzer dieselbe Sternzeitkurve in den wesentlichen Zügen zeigt (Maxima um 0 Uhr, 6 Uhr, 12 bis 16 Uhr, 20—21 Uhr; Minima zwischen 8—12 und 18 bis 19 Uhr Sternzeit) geht auch wieder aus den LINDHOLMschen Kurven hervor, obwohl LINDHOLM ja selbst diese Deutung nicht gibt. Nimmt man z. B. aus der Fig. 3 seiner Arbeit Gerl. Beitr. **22**, 141 (1929) die Mittelwerte der drei oberen Kurven („offen"), so erhält man die in Fig. 2 oben gezeichnete Kurve, die mit den

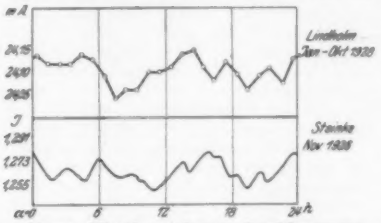

Fig. 2. Oben: Mittelwertskurve der Messungen von LINDHOLM. Etwas gegen links verschoben, sonst ähnlich den Mittelwertskurven aus den Messungen anderer Forscher. Unten: Mittelwertskurve der Messungen von STEINKE im Nov. 1926.

Mittelwertskurven der anderen Forscher wesentlich übereinstimmt. Die Existenz einer Sternzeitkurve ganz bestimmten Charakters, und als Folge bestimmter Strahlungszentren am Himmel, wie sie bereits von KOLHÖRSTER und von SALIS gefunden wurde, dürfte hiermit wiederum gezeigt worden sein.

Die seit 29. VIII. 1929 ausgeführten Messungen der Höhenstrahlung in Nord-Schweden werden ausführlicher in den Schriften der Schwed. Akad. d. Wiss. publiziert.

Abisko, Geophysikalisches Observatorium, den 2. Mai 1930. A. CORLIN.

Zur Strukturbestimmung des Analcims.

Im Zbl. f. Mineralogie **1928** A, 380, gab ich eine Bestimmung der Raumgruppe des *Analcims* $NaAlSi_2O_6 \cdot H_2O$, die inzwischen mehrfach bestätigt worden ist. Danach gehört die Elementarzelle des Analcims der Raumgruppe O_h^{10} an (kubisch raumzentriert) und enthält 16 Moleküle von der obigen Formel bei einer Kantenlänge von 13,68 A. Das Zeolithwasser läßt sich als „vagabundierend" betrachten und seine Abbeugungswirkung, wie auch Aufnahmen an geglühtem Analcimpulver bestätigen, bei der Parameterbestimmung vernachlässigen.

Über den bisherigen Verlauf der Strukturuntersuchung sei hier kurz berichtet.

Die in O_h^{10} möglichen Punktlagen verteilen sich wie folgt:

Zwei 16-zählige, zwei 24-zählige, eine 32-zählige (1 Parameter), zwei 48-zählige (1 Parameter), eine 96-zählige (3 Parameter).

Damit sind beim Analcim folgende Atomanordnungen denkbar:

A. O in 96	3 Parameter
B. O in $2 \times 48_1$	1 + 1 Parameter.
C. O in $2 \times 48_2$	1 + 1 Parameter.
D. O in $48_1 + 48_2$	1 + 1 Parameter.
E. O in 3×32	1 + 1 + 1 Parameter.

In jeder dieser fünf Gruppen

1. Na in 16_1, Al in 16_2 oder umgekehrt	
a) Si in 32	1 Parameter
b) Si in $24_1 + 24_2$ statistisch	—
c) Si in 48_1 statistisch	1 Parameter
d) Si in 48_2 statistisch	1 Parameter.
2. Na in 16_1	
a) Si + Al in $24_1 + 24_2$	—
b) Si + Al in 48_1	1 Parameter
c) Si + Al in 48_2	1 Parameter.
3. Na in 16_2	
a), b), c) wie bei 2.	

Von den fünf Hauptabteilungen sind die letzten vier, abgesehen von der Aufteilung der Sauerstoffatome in mehrere strukturell ungleichwertige Gruppen, wegen der schnurartigen Aneinanderreihung der Atome von vornherein unwahrscheinlich. Der Untersuchung wurde deshalb die Annahme zugrundegelegt, daß die O-Atome sich in der allgemeinsten Punktlage befinden. Formal, d. h. nach der Verteilung auf gesonderte Punktlagen am meisten befriedigen würde eine Struktur gemäß 1a; aber auch gegen diese spricht die starke Belastung der 3-zähligen Achsen. Ein für diesen Fall zunächst gefundenes Parametertripel entsprach annähernd der BRAGGschen Vorstellung, daß in den Silikaten die Anordnung der Sauerstoffatome die Struktur bestimmt; doch erwies sich dieses Tripel bei der weiteren Prüfung sowie bei einer gemeinsamen Bestimmung aller vier Parameter als unbrauchbar. Die Struktur 1b (ebenso 1c und 1d) würde bedeuten, daß die Si-Atome die in einer oder zwei Punktlagen zur Verfügung stehenden Plätze unter Freilassung statistisch verteilter Lücken einnehmen; aber auch bei 1b ergab sich kein brauchbares Koordinatentripel. Die Strukturmöglichkeiten der Klassen 2 und 3 haben gemeinsam, daß die Al-Atome strukturell gleichwertig mit den Si-Atomen angenommen werden, eine Vorstellung, die z. B. bei der Untersuchung der Plagioklasstruktur sich fruchtbar erwiesen hat. Näher geprüft wurden die Fälle der Klasse 2, und zwar bei b und c zunächst unter der speziellen Annahme, daß der Parameter der Si- (und Al-)Atome den Wert O oder $^1/_4$ hat. Auch bei diesen Möglichkeiten, die eine besonders gleichmäßige Atomverteilung darstellen, wurde ebenso wie bei 2a keine befriedigende Übereinstimmung der berechneten Intensitäten mit den geschätzten gefunden. Außer den allgemeinen Fällen von 2b und 2c bleiben also noch die der Klasse 3 sowie 1c und 1d zu prüfen. Die Untersuchung soll fortgesetzt werden.

Berlin, den 27. Mai 1930.

WILHELM HARTWIG.

Molekel oder Molekül?

In den Naturwissenschaften vom 7. I. 1929 war unter diesem Titel ein Ruf an die deutschen Physiker gerichtet worden, sich für eines der beiden Wörter zu entscheiden. Mit Rücksicht auf die internationalen Bezeichnungen und aus anderen Erwägungen wurde empfohlen, „das Molekül" und nicht „die Molekel" zu wählen. Vollen Erfolg hatte die Anregung nicht, aber ein gewisser Fortschritt ist heute zu verzeichnen. Die Bunsengesellschaft hat als Thema ihrer Tagung vom 29. bis 31. Mai offiziell „Spektroskopie und *Molekel*bau" gewählt. Kürzlich sind nun die Vorbemerkungen der angemeldeten Redner eingereicht worden. Soweit sich diese zum Hauptthema äußern, folgen nur 2 der gegebenen Parole und sagen „Molekel" (F. HUND, C. RAMSAUER), ein Autor schwankt und gebraucht

beide Wörter abwechselnd (P. DEBYE), 15 Physiker (J. FRANCK, R. MECKE, W. WEITZEL, O. STELLING, A. SMEKAL, W. HEITLER, E. HÜCKEL, O. HASSEL, G. BRIEGLEB, LOTHAR MEYER, H. MARK, R. WIERL, H. KALLMANN, B. ROSEN, W. STEINER) folgen der Parole nicht und sprechen nur von Molekülen. Es wird nun vorgeschlagen, dies als bindenden Majoritätsbeschluß gelten zu lassen.

Besprechungen.

BORN, M., und P. JORDAN, **Elementare Quantenmechanik.** (Struktur der Materie in Einzeldarstellungen, Bd. IX.) Berlin: Julius Springer 1930. XI, 434 S. 15×22 cm. Preis geh. RM 28.—, geb. RM 29.80.

Das Buch ist der zweite Band einer Serie, in der stets Ziel und Sinn des n.ten Bandes durch die virtuelle Existenz eines (n + 1).ten Bandes deutlich gemacht wird. Den ersten Band bilden die Vorlesungen über Atommechanik von M. BORN, welcher die ältere mit mechanischen Bahnen operierende Quantentheorie behandelt, während die Wellenmechanik den Gegenstand des dritten Bandes bilden soll, der geschrieben werden wird, „sobald Zeit und Kraft es gestatten". Was ist nun jene „elementare" Quantenmechanik des vorliegenden Bandes? Das Vorwort des Buches gibt darüber Aufschluß: Elementar ist diejenige Quantenmechanik, die sich elementarer Mittel bedient und elementare Mittel sind rein algebraische; die Benützung von Differentialgleichungen z. B. wird also konsequent möglichst vermieden.

So sehr auch dieser Plan des Buches als mathematischer Versuch interessant ist, so hat er doch zunächst zur Folge, daß das Buch infolge des notwendig einseitigen Bildes, das es von der Theorie entwirft, nur für einen ganz kleinen Kreis von Lesern (zu dem sich auch der Referent rechnet) von irgendwelchem Nutzen sein kann. Viele Resultate der Quantentheorie (wie z. B. Richtungsverteilung der Photoelektronen, Intensität der kontinuierlichen Spektren, Comptoneffekt, Theorie der Metallelektronen sowie die DIRACsche Theorie des Spinalelektrons) können nämlich mit den im oben definierten Sinne elementaren Mitteln gar nicht, andere wiederum nur unbequem und mit indirekten Methoden abgeleitet werden. (Zu den letzteren gehört z. B. die Herleitung der Balmerterme, die matrizentheoretisch im Anschluß an eine frühere diesbezügliche Arbeit von PAULI durchgeführt wird. Man wird hier dem Referenten also nicht vorwerfen können, daß er die Trauben deshalb sauer findet, weil sie ihm zu hoch hängen.) Auch ist die Beschränkung auf algebraische Methoden oft hemmend gegen die Einsicht in die Tragweite und innere Logik der Theorie, wie namentlich in der vorläufigen Ausschließung von Größen mit kontinuierlichen Eigenwertspektren (in dem 2. Kapitel: mathematische Grundlagen und in dem 6. Kapitel: Statistische Deutung der Quantenmechanik) fühlbar wird.

Wertvoll erscheint dem Referenten außer der Durchrechnung zahlreicher Beispiele (u. a. Stark- und Zeemaneffekt, elektrische Polarisierbarkeit, magnetische Suszeptibilität) die ausführliche Behandlung der Dispersionstheorie einschließlich elektro- und magnetooptischer Effekte sowie der optischen Aktivität. Der § über die Intensität der Streustrahlung enthält jedoch einige Irrtümer.

Was allerdings die Erläuterung der Grundlagen der (statistisch aufzufassenden) Quantenmechanik (6. Kapitel) betrifft, so wird sie sicherlich zahlreiche Physiker wenig befriedigen. Es handelt sich keineswegs um logische Unrichtigkeiten, auch nicht um irgendwelche, die schließlich erreichte Deutung der Theorie betreffende Meinungsverschiedenheiten, sondern um die Art der Voraussetzungen, die an die Spitze gestellt werden. Zu diesen gehört u. a. das Postulat, es sollen gewisse mathematische Hilfsbegriffe (wie z. B. HILBERT-Vektoren) in der Theorie vorkommen und das andere, daß jede physikalische Größe durch eine Matrix dargestellt wird. Was eine solche „Darstellung" einer physikalischen Größe durch eine Matrix bedeutet, wird in Wahrheit erst durch spätere Folgerungen verständlich; und bei aller Hochachtung vor der Wissenschaft der Stadt Göttingen, namentlich vor ihrem Mathematiker HILBERT, muß doch gesagt werden, daß es ungezwungener erscheinen dürfte, die Theorie zunächst auf die Diskussion von (wenigstens im Prinzip ausführbaren) Messungsmethoden von Ort und Impuls eines Teilchens oder von Energiewerten stationärer Zustände eines Systems und auf aus allgemeinen Erfahrungen (Welle-Korpuskel) abstrahierte Postulate über die möglichen Messungsergebnisse zu basieren; die Transformationstheorie und spezielle mathematische Hilfsmittel wären erst später bei der Entwicklung der Konsequenzen der Theorie einzuführen.

Das letzte Kapitel, Einleitung in die Quantentheorie des Lichtes, enthält neben Gedankengängen über die Schwankungserscheinungen der Strahlung, die der eine Verfasser (P. JORDAN) schon mehrmals darzulegen Gelegenheit genommen hat, eine kurze Einführung in die DIRACsche Theorie der Strahlungsvorgänge.

Die Ausstattung des Buches hinsichtlich Druck und Papier ist vortrefflich.

W. PAULI jr., Zürich.

DEBYE, P., **Polar Molecules.** New York: The Chemical Catalog Company, Inc. 1929. 172 S. 15×23 cm. Preis $ 3.50.

DEBYE, P., **Polare Molekeln.** Leipzig: S. Hirzel 1929. VIII, 200 S. und 34 Textabbildungen. 15×22 cm. Preis geh. RM 14.—, geb. RM 15.50.

Der erste Schritt zur Erforschung der Struktur einer Molekel ist die Bestimmung der elektrischen Ladungsverteilung. Die einfachste Größe, die diese Verteilung charakterisiert, ist das elektrische Dipolmoment. Seitdem DEBYE 1912 die elektrischen Dipolmomente zur Erklärung der Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante in die Physik eingeführt hat, haben sich viele Forscher mit diesen Problemen beschäftigt, und ganz besonders in den letzten Jahren ist die Zahl der einschlägigen Arbeiten sehr stark angewachsen. Andererseits stammte die letzte zusammenfassende Darstellung — der Artikel von DEBYE im Handbuch der Radiologie, Bd. VI — noch aus den Anfangsjahren der Dipolforschung. Es war daher bisher sehr schwierig, sich über dies interessante Gebiet der Physik genauer zu orientieren.

Das vorliegende Buch gibt nun eine ausgezeichnete Gelegenheit, alles was mit Dipolfragen zusammenhängt, sowohl in theoretischer als auch in experimenteller Beziehung, kennen zu lernen. Nach den mit der Struktur der Moleküle im Zusammenhang stehenden Problemen, mit denen sich die ersten Kapitel des Buches befassen und die auch experimentell schon recht gut bearbeitet sind, werden die Erscheinungen der anomalen Dispersion elektrischer Wellen und die dielektrischen Sättigungserscheinungen behandelt. Hier handelt es

sich vielfach um Fragen, bei denen oft noch starke Divergenzen der Messungsergebnisse verschiedener Beobachter vorliegen. Daher beschäftigen sich diese Kapitel im wesentlichen mit der Darstellung der Theorien der Erscheinungen und lassen die Frage der experimentellen Bestätigung noch offen. Die Schlußkapitel bringen die Anwendung der Quantentheorie auf die Dipoltheorie in ihrer älteren Form und in ihrer neuen Form der Wellenmechanik. Hier zeigt sich wieder, daß die Resultate der Wellenmechanik denen der klassischen Physik viel ähnlicher sind als die der älteren Quantentheorie.

Die englische Ausgabe erschien zuerst, veranlaßt durch eine Reihe von Vorträgen, die der Verfasser in Amerika gehalten hat. Die deutsche Übersetzung ist durch die Aufnahme der neuesten Arbeiten noch weiter ergänzt und durch eine Tabelle aller bis zum Erscheinen bekannten Dipolmomente vervollständigt. Daß die Darstellung meisterhaft ist, versteht sich eigentlich von selbst. Wenn einzelne Kapitel nicht ganz einfach zu lesen sind, so liegt das an den Schwierigkeiten der Materie und nicht am Verfasser.

I. Estermann, Hamburg.

GUTENBERG, B., **Theorie der Erdbebenwellen; Beobachtungen, Bodenunruhe.** (Handbuch der Geophysik, herausgegeben von B. Gutenberg, Bd. 4, Lieferung 1.) Berlin: Gebrüder Borntträger 1929. 298 S. und 146 Abb. 17×26 cm. Preis RM 30.—.

Das vorliegende Buch ist ein Teil des großen Handbuches der Geophysik, das der Verfasser zusammen mit vielen hervorragenden Mitarbeitern herausgibt. Es zerfällt in drei Abschnitte, von denen der erste die Theorie der Erdbebenwellen behandelt. Der zweite Teil befaßt sich mit den Beobachtungen der Erdbeben und der dritte endlich mit der seismischen Bodenunruhe. Namentlich aus den ersten beiden Abschnitten erkennt man die außerordentliche Schwierigkeit, mit welcher gerade diese Disziplin zu kämpfen hat und die sich einerseits in den außerordentlich komplizierten theoretischen Entwicklungen, andererseits in der fast unmöglichen Entzifferung der Rätselrunen der Erdbebendiagramme äußert.

Der Verfasser hat sich der dankenswerten und mühevollen Aufgabe unterzogen, die ganze Theorie der Erdbebenwellen von den Grundgleichungen ausgehend, zu entwickeln und bis zu jenen komplizierten Anschauungen vorzudringen, welche durch den Ullerschen Wellenbegriff gekennzeichnet sind, mit dem man offenbar am Beginn einer neuen Ära der Wellentheorie steht. Es ist interessant, in diesem Zusammenhange die Aufsätze von Uller in den Beiträgen zur Geophysik zu vergleichen, wo die Mängel und Unzulänglichkeiten der alten Wellentheorie aufgezeigt werden.

Der zweite Abschnitt ist hauptsächlich der Untersuchung der Perioden und der Laufzeitkurven gewidmet. Der Vergleich der Theorie mit den Beobachtungen stellt sich außerordentlich schwierig, weil aus den Erdbebendiagrammen die Einsätze der einzelnen Wellengattungen nur mit Mühe abzulesen sind. Man kann sich darüber nicht wundern, weil eine ungeheure Anzahl von Wellenzügen übereinanderläuft; wird doch jede Welle bei ihrer Reflexion und Brechung an den zahllosen Grenzflächen wieder in zwei Wellen zerspalten. Dazu kommt noch, daß der Erdoberfläche eine besondere Rolle zukommt. Es ist eigentlich sehr zu bewundern, daß die zahlenmäßigen Ergebnisse der einzelnen voneinander unabhängigen Forscher soweit übereinstimmen, wenn man die außerordentliche Streuung der Beobachtungen betrachtet, welche z. B. in den Fig. 72, 74 und 81 zum Ausdruck kommt.

Der letzte Abschnitt endlich befaßt sich mit der seismischen Bodenunruhe und den zahlreichen Ursachen, welche dieselbe hervorrufen.

Das Werk ist wohl das vollständigste, das derzeit auf diesem Gebiete existiert. Seine volle Ausnützung aber wird erst möglich sein, wenn die übrigen Teile erschienen sind und jene wertvollen Ergänzungen bringen, welche noch fehlen, so z. B. die Besprechung der Instrumente und eine Inhaltsübersicht und ein alphabetisches Sach- und Autorenverzeichnis.

A. Prey, Prag.

WERNER, OTTO, **Empfindliche Galvanometer für Gleich- und Wechselstrom.** Berlin und Leipzig: Walter de Gruyter & Co. 1928. VIII, 208 S., 93 Abbildungen und 17 Tabellen. 16×24 cm. Preis geh. RM 13.—, geb. RM 14.—.

Es ist nicht immer ganz leicht, das für einen bestimmten Zweck am besten geeignete empfindliche Galvanometer unter den zahlreichen Typen auszuwählen, die im Handel erhältlich sind. Denn die Konstruktionsbedingungen der Galvanometer bringen es mit sich, daß die verschiedenen erwünschten Eigenschaften, nämlich höchste Stromempfindlichkeit, höchste Spannungsempfindlichkeit und kurze Schwingungsdauer einander ausschließen. Es muß daher das Galvanometer der Eigenart der meßtechnischen Aufgabe angepaßt sein, und nur in den Fällen, in denen auf höchste Empfindlichkeit verzichtet werden kann, sind Universalinstrumente anwendbar. Die Gesichtspunkte, die für die Auswahl eines geeigneten Galvanometers maßgebend sind, werden im vorliegenden Buche eingehend besprochen, wobei der Verf. von der Aufgabe ausgeht, ein Galvanometer mit bestimmten Eigenschaften zu konstruieren. Diese Art der Darstellung bringt es mit sich, daß die Theorie der Strom- und Spannungsmeßapparate recht eingehend behandelt wird. Im ersten Teile des Buches werden die Galvanometer für Gleichstrom besprochen, unter ihnen an erster Stelle die Drehspulgalvanometer, während die historisch älteren, aber nicht mehr so häufig gebrauchten Drehmagnetgalvanometer (Nadelgalvanometer) wesentlich kürzer behandelt werden. Zu den Gleichstrominstrumenten gehören noch die Saitengalvanometer, denen ebenfalls ein Abschnitt gewidmet ist. Der zweite Teil des Buches behandelt die Galvanometer für Wechselstrom. Hier ist den Vibrationsgalvanometern, Elektrodynamometern, thermischen Instrumenten und Oscillographen je ein besonderer Abschitt gewidmet. Die weiteren Kapitel enthalten Bemerkungen über die Leistungsfähigkeit der Elektrometermethode und der Verstärkereinrichtungen; auf die Zusatzapparate, wie optische Hilfsmittel, Aufhängevorrichtungen, Nebenschlußwiderstände und auf die gebräuchlichsten Schaltungen wird ebenfalls eingegangen. Besonders nützlich sind die zahlreichen Tabellen, die einen kritischen Vergleich der Eigenschaften der einzelnen höchstempfindlichen Galvanometertypen ermöglichen. Das Buch dürfte für jeden, der mit empfindlichen Galvanometern arbeitet, wertvolle Hinweise und Ratschläge enthalten. I. Estermann, Hamburg.

KREMANN, R., und ROB. MÜLLER, **Elektromotorische Kräfte, Elektrolyse und Polarisation.** I. Elektromotorische Kräfte (aus: Ostwald-Drucker-Walden, Handbuch der allgemeinen Chemie Bd. 8, 1. Teil). Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. 1930. XVI, 891 S., 95 Abbildungen und 379 Tabellen. 17×25 cm. Preis geh. RM 81.—, geb. RM 85.—.

Wi. Ostwalds „Lehrbuch der allgemeinen Chemie", das dieser Wissenschaft stärkste Antriebe gegeben hat,

ist unvollendet geblieben, weil der Verfasser zu der Überzeugung gekommen war, daß die Kräfte eines einzelnen nicht ausreichen, das ganze Gebiet erschöpfend und kritisch zu behandeln. OSTWALD begründete später das „Handbuch der allgemeinen Chemie", das nunmehr von C. DRUCKER und P. WALDEN herausgegeben wird und so angelegt ist, daß jeder Bearbeiter ein ihm besonders vertrautes Teilgebiet monographisch behandelt.

Von diesem Handbuch erschienen bisher: I. WI. OSTWALD, Chemische Literatur und Organisation der Wissenschaft (1919); II. W. RAMSAY, G. RUDORF, Die Edelgase (1918); III. I. P. KUENEN, Eigenschaften der Gase (1919); IV. P. WALDEN, Leitvermögen der Lösungen (1924); V. R. KREMANN, Mechanische Eigenschaften flüssiger Stoffe (1928); VI. F. EPHRAIM, Chemische Valenz- und Bindungslehre (1928); VII. W. SWIETOSLAWSKI, Thermochemie (1928) und jetzt der erste Teil des Bandes VIII von R. KREMANN und R. MÜLLER, der die elektromotorischen Kräfte behandelt, während der zweite noch ausstehende Teil, der Elektrolyse und Polarisation gewidmet sein soll. Die Verfasser betonen selbst, daß für dies Handbuch sehr wertvolle Vorarbeiten vorhanden waren, von denen F. FOERSTER, „Elektrochemie wässeriger Lösungen"; E. MÜLLER, „Elektrometrische Maßanalyse"; R. LORENZ, „Elektrolyse geschmolzener Salze" und die 3 im Auftrage der Bunsengesellschaft von ABEGG, AUERBACH, LUTHER und DRUCKER herausgegebenen „Potentialsammlungen" zu nennen sind. Im Gegensatz zu diesen Werken, die sich auf Teilgebiete beschränken, ist in dem KREMANN-MÜLLERschen Buch der ganze im Titel bezeichnete, recht umfangreiche Stoff verarbeitet unter Einschluß der Erscheinungen bei nichtwässerigen und schmelzflüssigen Elektrolyten. Es ist ein Handbuch, insofern es die zahlreichen Messungen — meist in Tabellenform — wiedergibt und gleichzeitig ein Lehrbuch, weil es den theoretischen Erläuterungen einen sehr breiten Raum einräumt und die einzelnen Untersuchungen logisch verknüpft und von einheitlichen Gesichtspunkten aus behandelt.

Nach einer kurzen Einleitung (I) werden ausführlich die Messungen von Potentialen (II), die Thermodynamik der galvanischen Elemente (III) und die osmotische Theorie der Stromerzeugung (IV) besprochen; sodann folgen Theorie von Flüssigkeitsketten und ihre experimentelle Prüfung (V), Konzentrationsketten (VI), Amalgamketten (VII), Daniellketten (VIII) und Einfluß des Druckes auf reversible Ketten (IX).

Der nächste Hauptabschnitt befaßt sich mit den Einzelpotentialen; sein erster Teil schildert die Bestimmung der Einzelpotentiale an den Phasengrenzen (X); es folgen die elektrolytischen Lösungstensionen (XI) und Einzelpotentiale der Elemente (XII), die Potentiale der Legierungen (XIII), die Oxydations-Reduktionspotentiale (XIV) und die Normalpotentiale der Elektrodenvorgänge (XV). Den Schluß bildet ein Abschnitt über die Ausscheidung von Metallen und Legierungen aus ihren Lösungen auf Grund der Spannungsreihe (XVI).

Natürlich kann diese Aneinanderreihung von Kapitelüberschriften von dem ungemein reichen Inhalt des Bandes nur eine unvollkommene Vorstellung geben; es sei deswegen noch auf einige Einzelheiten hingewiesen: Bei den galvanischen Ketten findet man die ausführliche Besprechung der Normalelemente, beim Wasserstoffpotential die Wasserstoffnormalelektrode und ihre Beziehungen zu anderen Bezugselektroden. Eingehend erörtert ist die Frage nach dem Sitz der elektromotorischen Kräfte und den Potentialen zwischen zwei nichtmetallischen Phasen. Im Zusammenhang mit der Bestimmung der Einzelpotentiale findet man einen ausführlichen Bericht über die elektrocapillaren Erscheinungen. Im Abschnitt über Oxydations-Reduktionsketten steht eine umfangreiche Tabelle aller Oxydations-Reduktionsreaktionen, die zu elektrometrischen Titrationen Verwendung gefunden haben, in übersichtlicher Anordnung; am Schluß dieses Kapitels werden anhangsweise Brennstoff- und Photoketten behandelt. Es dürfte kaum ein bedeutungsvolles Problem aus dem Gebiet der Ruhepotentiale geben, das hier nicht zur Sprache gebracht ist. Bei der Mitteilung von Messungsergebnissen haben die Verfasser nicht nach Vollständigkeit gestrebt, insbesondere sind erfreulicherweise keine Potentiale solcher Ketten mitgeteilt, die nach unseren heutigen Kenntnissen als mangelhaft definiert zu bezeichnen sind; im übrigen aber sind die Tabellen so umfangreich, daß man in vielen Fällen nicht auf die Originalarbeiten wird zurückgreifen müssen.

Ein sehr ausführliches Namen- und Sachregister von 68 Seiten erleichtert die Benutzung dieses Nachschlagewerkes außerordentlich.

R. KREMANN, Graz, und R. MÜLLER, Leoben, haben sich durch ihre sehr gewissenhafte und fleißige Arbeit den Dank aller verdient, die bei ihren Forschungen oder im technischen Betriebe mit elektromotorischen Kräften zu tun haben; man wird ihnen wünschen dürfen, daß sie auch die zweite Hälfte dieses Werkes in Kürze erfolgreich zum Abschluß bringen.

I. KOPPEL, Berlin.

Berichtigungen.

In dem Artikel **Das Licht des Nachthimmels und die grüne Linie** (Heft 19, S. 401) sind zu meinem Bedauern aus Versehen in der Quellenangabe die bekanntlich sehr wichtigen Arbeiten von Professor CARL STOERMER nicht gebührend erwähnt worden. CARL STOERMER, Nature **120**, 329 (1921); **123**, 868 (1929); Zeitschr. f. Geophysik **5**, 177 (1929). In diesen Veröffentlichungen behandelt Professor STOERMER die große Höhenausdehnung der Nordlichter, sowie die Erscheinung der sonnenbelichteten Nordlichtstrahlen, Gebiete, in denen er die ersten und bahnbrechenden Beobachtungen machte.

Es darf vielleicht bei dieser Gelegenheit noch darauf hingewiesen werden, daß es infolge einer Stiftung amerikanischen Physikern möglich geworden ist, in Alaska regelmäßige Beobachtungen über das Nordlicht anzustellen, nach den Ratschlägen und Richtlinien Professor STOERMERS. RICHARD RUEDY, Toronto.

In der Zuschrift **Quantitative Bestimmung von Kalium in Bodenproben auf röntgenspektroskopischem Wege** von G. v. HEVESY und J. C. CALVERT in Heft 22 muß es Seite 530 Zeile 16 von unten heißen: wobei die Störung zum Teil vom Anregungseffekt herrührt.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.